



ОЦЕНКА влияния вибрации на работающих в литейных цехах

А.М. ЛАЗАРЕНКОВ, С.А. ХОРЕВА, Белорусский национальный технический университет

Одним из вредных производственных факторов, определяющих условия труда в литейных цехах и неблагоприятно воздействующих на работающих, является вибрация, которая при длительном воздействии на организм человека может привести к патологическим изменениям, а затем и профессиональному заболеванию – вибрационной болезни.

В последние годы вибрационная патология занимает ведущее место в структуре профессиональной заболеваемости. Вклад в это негативное явление машиностроительных отраслей обусловлен, с одной стороны, выпуском и поставкой потребителям виброопасных машин и агрегатов, а с другой – использованием вибрационных технологий и процессов. А реализация разовых или эпизодических мероприятий, как правило, не решает проблемы вибробезопасности труда на машиностроительных предприятиях.

Гигиеническую оценку как общей, так и локальной вибрации, воздействующей на человека на рабочем месте, производят следующими методами:

- частотным (спектральным) анализом нормируемого параметра;

- интегральной оценкой по частоте нормируемого параметра;

- интегральной оценкой с учетом времени воздействия вибрации по эквивалентному (по энергии) уровню нормируемого параметра.

Основным методом, характеризующим вибрационное воздействие на работающих, является частотный анализ. Однако установлено, что локальная и общая вибрация на различных частотах по-разному воздействует на человека. Вибрация низких частот менее вредна, чем высокочастотная. Поэтому в качестве физического критерия для оценки действия вибрации на организм принимают воздействующую на него энергию с учетом вредности вибраций различных частот, которая может быть учтена в виде коррекции. Исходя из этого для оценки уровней вибра-

ции на рабочих местах литейных цехов, кроме частотного анализа, был принят метод интегральной оценки.

При энергетическом сложении разностей между измеренными уровнями вибрации и коррекцией во всех октавных полосах получаем интегральную оценку вибрации одним числом. Если измеренные уровни вибрации в октавных полосах равны L_{Vi} , то скорректированное значение уровня вибрации L_v находят по формуле:

$$L_v = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{Vi} + L_{Ki})},$$

где L_{Vi} – среднее квадратичное значение уровня виброскорости в i -й частотной полосе; L_{Ki} – весовой коэффициент для i -й частотной полосы для значений логарифмических уровней; n – число частотных полос в нормируемом диапазоне частот.

По полученным данным можно количественно сравнивать вибрацию оборудования между собой, а также с нормативными значениями.

Если рабочий находится в контакте с источниками вибрации неполную смену или в течение смены работает с несколькими источниками, имеющими различный уровень вибрации, то



необходимо найти эквивалентный скорректированный уровень виброскорости $L_{V\Sigma}$.

При работе с одним вибрирующим инструментом в течение t мин за смену эквивалентный скорректированный уровень виброскорости находят по формуле:

$$L_{V\Sigma} = 10 \lg \frac{t}{T_0} 10^{0,1 L_V} = L_V + 10 \lg \frac{t}{T_0},$$

где L_V – скорректированный уровень виброскорости инструмента, дБ; T_0 – опорное значение времени, равное продолжительности рабочей смены, $T_0 = 480$ мин.

Если рабочий находится в течение смены в контакте с несколькими вибрирующими инструментами, имеющими скорректированные уровни виброскорости L_{Vj} соответственно по t_j мин с каждым, то эквивалентный скорректированный уровень виброскорости находят по формуле:

$$L_{V\Sigma} = 10 \lg \sum_{j=1}^m 10^{0,1 [L_{Vj} + 10 \lg (t_j / T_0)]}.$$

Вышеприведенные уравнения были использованы при разработке программы расчета уровней вибрации на рабочих местах литейных цехов с применением ЭВМ.

В результате расчета получаем эквивалентные скорректированные уровни виброскорости на рабочих местах, где имеются источники общей или локальной вибрации. На основании полученных в результате расчета значений уровней вибрации в программе предусмотрен вывод на печать исходных и расчетных данных в сравнении с нормативными величинами в виде таблицы.

Сравнение расчетных и экспериментальных данных, полученных в результате исследований на участках литейных цехов, показало хорошую их

сочетаемость. Однако эквивалентные уровни виброскорости, полученные расчетным путем, имеют меньшие значения в сравнении с экспериментальными величинами, так как при замерах уровней вибрации на рабочих местах фиксируются уровни работающего оборудования. А при расчетах учитывается временной фактор, что, кроме того, особенно важно для объективной оценки влияния вибрации на организм работающих при выборе литейного оборудования в проектируемых или реконструируемых литейных цехах.

Таким образом, объективную оценку вибрационной обстановки на участках литейных цехов можно осуществлять только расчетным путем с использованием разработанной программы расчета параметров вибрации.

Кроме того, были также выполнены расчеты по разработанной программе для построения номограмм по определению превышения эквивалентных скорректированных уровней вибрации $\Delta L_{V\Sigma}$ литейного оборудования над допустимыми в зависимости от времени его работы.

На рис. 1, 2 приведены полученные зависимости, которые можно использовать для определения допустимого времени работы литейного оборудования, создающего локальную или общую вибрацию, а также для выбора наименее виброопасного оборудования без проведения расчетов, исходя только из типов используемого оборудования и времени его воздействия за рабочую смену. Все это позволит определить оптимальные режимы работы персонала и значительно уменьшить вредное влияние вибрации на здоровье литейщиков.

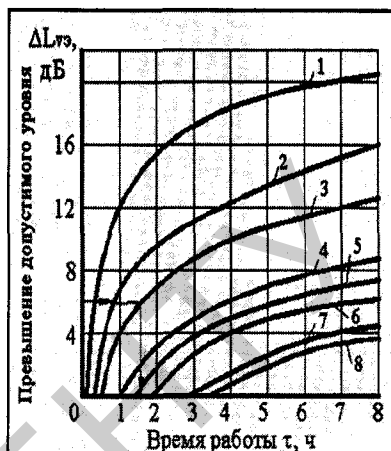


Рис. 1. Зависимость превышения допустимого уровня общей вибрации от времени работы литейного оборудования

1 – решетка выбивная (крупное литье), 2 – решетка выбивная (среднее литье), 3 – машина формовочная встряхивающая, 4 – барабан дробеметный, 5 – решетка выбивная (мелкое литье), 6 – барабан галтовочный, 7 – бегуны смешивающие, 8 – автомат формовочный АФЛ.

Результаты проведенных исследований вибрации литейного оборудования показали, что в литейных цехах наибольшие превышения уровней общей вибрации наблюдаются в области средних и высоких частот 16, 31,5 и 63 Гц на рабочих местах формовщиков у встряхивающих машин и выбивщиков. Однако значительно большему воздействию локальной вибрации подвергаются литейщики, обслуживающие ручной формовочный инструмент, станки и инструмент для очистки отливок и инструмент для обрубки литья. Причем превышение допустимых значений отмечается практически во всем диапазоне ча-



стот (наибольшие превышения в области низких частот).

Для оценки воздействия вибрации на лиц вышеуказанных профессий были выполнены расчеты эквивалентных скорректированных уровней вибрации (ΔL_{v3}) по разработанной программе с использованием ЭВМ. Затем по полученным значениям ΔL_{v3} определяли с использованием номограмм (рис. 1, 2) допустимое время работы с различным виброопасным оборудованием и инструментом. Сравнение расчетного допустимого и фактического времени работы оборудования и инструмента показало значительные воздействия вибрации на работающих, особенно использующих ручной инструмент. Причем фактическое время работы с источниками локальной вибрации превышало расчетное допустимое в несколько раз (от 3 до 7 раз).

Вышесказанное также подтверждается значениями индекса загрязнения $K_{злгр}$ (относительного показателя) по вибрационному фактору (табл. 1), полученными расчетным путем. И особенно это видно по значениям $K_{злгр}$ на рабо-

чих местах обрубочно-очистных участков литейных цехов с любым характером производства, на которых большинство работающих подвергаются длительному воздействию локальной вибрации.

Изучение вибрационных режимов оборудования в литейных цехах с различным характером производства показало, что наибольшему воздействию вибрации подвергаются работающие в цехах массового производства (средние значения $K_{злгр}$ в 1,5–2 раза выше, чем в цехах серийного и мелкосерийного производства), где имеет место более продолжительный контакт человека с источниками вибрации, несмотря на более высокий (хотя и недостаточный) уровень механизации и автоматизации процессов. Однако доля ручного труда и в цехах массового производства еще высока, особенно на финишных операциях. Применение оборудования ударного действия на формовочных и выбивных участках также создает повышенные вибрационные нагрузки на работающих.

Следует отметить ряд технологических процессов, при

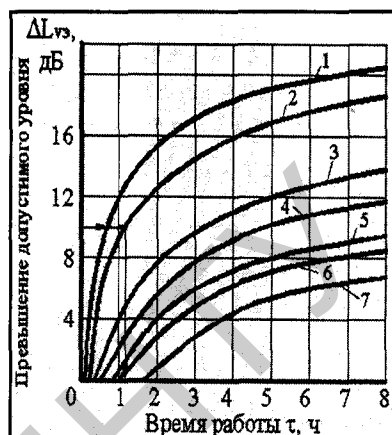


Рис. 2. Зависимость превышения допустимого уровня локальной вибрации от времени работы литейного оборудования

- 1 – молоток рубильный,
2 – пневмотрамбовка, 3 – пескомет (ручное управление),
4 – пневмотрамбовка ручная,
5 – станок обдирочный,
6 – пневмонаждак подвесной,
7 – пневмомашинка ручная.

протекании которых не возникает вибрационных нагрузок на работающих. Это изготовление стержней и форм на безударных машинах, с использованием жидкостекольных и холод-

Таблица 1

Значение индекса загрязнения по вибрационному фактору на участках литейных цехов с различным характером производства

Участок цеха	Значения $K_{злгр}$ по вибрационному фактору в цехах с характером производства		
	массовым	серийным	мелкосерийным
Смесеприготовительный	0,29	0,15	0,19
Стержневой	0,07	0,09	0,14
Формовочный	0,27	0,19	0,12
Выбивной	0,35	0,27	0,16
Обрубочно-очистной	1,15	1,07	0,75
Цветного литья		0,05	
Литья гильз		0,02	
Среднее значение по цеху	0,32	0,21	0,17



Таблица 2

Распределение профзаболеваний по профессиям работающих в литейных цехах

Профессия	Коэффициент заболеваемости (число случаев на 1000 работающих) в литейных цехах											
	массовое производство				серийное производство				мелкосерийное производство			
	общий	виброблезнь	неврит	пылевая болезнь	общий	виброблезнь	неврит	пылевая болезнь	общий	виброблезнь	неврит	пылевая болезнь
Обрубщик	5,03	2,08	1,41	1,54	4,88	2,24	1,05	1,59	3,67	1,71	0,58	1,38
Плавильщик-заливщик	1,78		0,80	0,98	1,32		0,62	0,70	0,83		0,29	0,54
Формовщик	2,13	0,63	1,08	0,42	1,48	0,40	0,72	0,36	1,07	0,35	0,52	0,20
Стерженщик	1,61	0,40	0,54	0,67	1,25	0,45	0,28	0,52	1,18	0,40	0,32	0,46
Выбивщик	2,56		1,02	1,54	3,28		1,32	1,96	2,55		0,89	1,46
Наждачник	2,41	0,68	0,89	0,84	2,18	0,75	0,70	0,73	1,6	0,56	0,58	0,46
Ремонтник	2,19		1,02	1,17	1,84		0,86	0,98	1,15		0,54	0,61
Земледел	0,78		0,18	0,60	0,40			0,40	0,16			1,16
Транспортировщик литья	1,09		0,77	0,32	0,73		0,45	0,28	0,46		0,21	0,25
Машинист крана	1,07			1,07	0,78			0,78	0,46			0,46
Электрогазосварщик	0,82			0,82	0,73			0,73	0,65			0,65

нотвердеющих смесей, выбивка форм прессовым методом.

Учитывая значительные вибрационные нагрузки на литейщиков, проектировщикам оборудования для литейного производства следует создавать высокопроизводительные автоматизированные и механизированные комплексы (включая промышленных роботов), позволяющие ликвидировать ручной труд и исключить контакт

работающих с источниками вибрации. А учитывая, что создание вибробезопасного инструмента и оборудования является трудно разрешимой задачей, необходимо внедрять физиологически обоснованные режимы труда и отдыха работающих в литейных цехах. При этом допустимое время работы с виброопасным оборудованием

определять по полученным нами номограммам (рис. 1, 2) или расчетным путем по разработанным программам.

Вибрация оказывает значительное влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней и форм, выбивки, обрубки и очистки отливок, уровнем механизации и автоматизации, а также характером производства.

Результаты проведенных исследований позволили создать базу данных по вибрационным характеристикам литейного оборудования и инструмента, которая может быть использована для оценки ожидаемых эквивалентных уровней вибрации на рабочих местах проекти-

руемых или реконструируемых литейных цехов, а также для расчета допустимого времени работы оборудования действующих цехов.

Таким образом, работающие в литейных цехах подвергаются воздействию вибрации при изготовлении форм из песчано-глинистых смесей на встряхивающих формовочных машинах, при выбивке отливок из форм, при очистке и обрубке литья, т.е. там, где

человек находится у литейного оборудования ударного типа (при общей вибрации) или контактирует с источниками вибрации через руки (локальная вибрация). При этом следует отметить, что источники локальной вибрации создают значительно большие уровни вибрации, чем общей. Поэтому при проектировании или рекон-



Таблица 3

Значения коэффициентов математических моделей заболеваемости виброболезнью работающих в литейных цехах

Профессия работающих	Значения коэффициентов		
	А	В	регрессии
Обрубщик	$9,1 \cdot 10^{-3}$	$4,16 \cdot 10^{-2}$	0,90
Формовщик	$5,0 \cdot 10^{-5}$	0,14	0,99
Стерженщик	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$6,06 \cdot 10^{-3}$	0,86
Наждачник	$4,0 \cdot 10^{-6}$	$4,06 \cdot 10^{-3}$	0,79

струкции литейных цехов предпочтению необходимо отдавать технологическим процессам, где используется безударное оборудование, работающее в автоматизированном режиме. Также надо использовать формовочные и стержневые смеси беспригарные легковыбиваемые из отливок и опок.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что вибрация оказывает значительное влияние на работающих в литейных цехах, степень воздействия которого определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней и форм, выбивки, обрубки и очистки отливок, уровнем механизации и автоматизации, а также характером производства (табл. 2).

В литейных цехах серийного и мелкосерийного производства наблюдается несколько большее количество заболеваний вибрационной патологии, несмотря на меньшие значения индекса загрязнения (табл. 1). Данное положение можно объяснить тем, что в цехах массового производства, как правило, организация рабочих мест наиболее отвечает требованиям безопасности и эргономики, а в цехах серийного и особенно мелкосерийного производства работающие (особенно обрубщики и чистильщики литья), кроме больших физических нагрузок, выполняют работы в вынужденных напряженных позах, часто на плацу, где подвергаются, кроме того, большим тепловым нагрузкам и охлаждающему ми-

кроклимату. А это способствует развитию виброболезни.

Статистическая обработка экспериментальных данных по заболеваемости литейщиков виброболезнью позволила получить нелинейную модель типа $Y = Ae^{Bx}$, которая для исследуемых параметров имеет следующий вид:

$$P_{ЗВ} = 3,12 \cdot 10^{-12} e^{0,2L_v},$$

где $P_{ЗВ}$ – коэффициент заболеваемости виброболезнью, L_v – уровень виброскорости литейного оборудования, дБ.

При этом значение коэффициента регрессии свидетельствует о высокой степени связи между исследуемыми параметрами ($R = 0,97$).

С использованием математической модели была получена

Таблица 4

Значения коэффициентов математических моделей профзаболеваемости работающих в литейных цехах

Профессия работающих	Значения коэффициентов		
	Виброболезнь		
	А	В	Р
Обрубщик	1,52	$3,41 \cdot 10^{-2}$	0,94
Формовщик	0,29	0,22	0,91
Стерженщик	0,38	$4,12 \cdot 10^{-2}$	0,82
Наждачник	0,59	$2,5 \cdot 10^{-2}$	0,73



Таблица 5

Показатели профзаболеваемости работающих в литейных цехах

Профессия	Коэффициент заболеваемости (на 1000 работающих)		Средняя продолжительность развития болезни, лет
	общий	виброблезнь	виброблезнь
Обрубщик	4,53	2,01	11,2
Плавильщик-заливщик	1,31		
Формовщик	1,56	0,46	17,0
Стерженщик	1,35	0,42	15,2
Выбивщик	2,80		
Наждачник	2,06	0,66	12,5
Ремонтник	1,73		
Земледел	0,45		
Транспортировщик литья	0,76		
Машинист крана	0,83		
Электрогазосварщик	0,73		

зависимость коэффициента заболеваемости виброблезнью работающих в литейных цехах от уровней виброскорости (рис. 3), которая позволяет на стадии проектирования прогнозировать заболеваемость виброблезнью по ожидаемым уровням вибрации литейного оборудования.

Также были выявлены корреляционные зависимости влияния вибрации на коэффициент заболеваемости виброблезнью литейщиков, использующих виброопасный инструмент (табл. 3). Анализ полученных данных показывает наибольшее влияние вибрации на обрубщиков и формовщиков, достоверность которого подтверждается значениями индекса загрязнения по вибрационному фактору на участках литейных цехов (табл. 1).

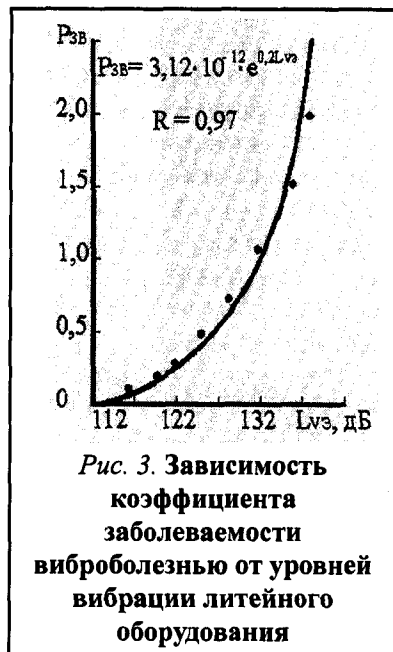
Кроме того, были получены зависимости коэффициентов рассматриваемых профболезней литейщиков от комплексного показателя условий труда $K_{ЗАГР}$, которые приведены на рис. 4.

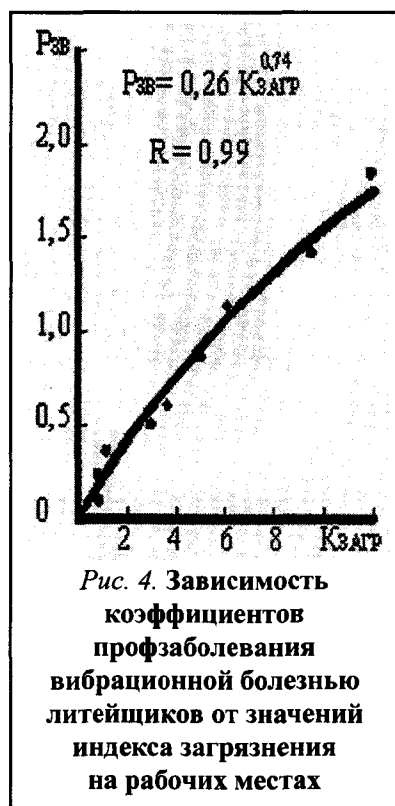
Также установлены зависимости влияния условий труда на коэффициенты профзаболеваний работников основных профессий литейных цехов (табл. 4).

Наибольшее число случаев профзаболеваний в литейных цехах приходится на 11 профессиональных групп (табл. 5). При сравнительном анализе экспериментальных данных можно заметить, что наиболее неблагоприятной является профессия обрубщика, особенно по числу зарегистрированных случаев виброблезни. На долю этого заболевания приходится 45% всех случаев заболеваний обрубщиков. Остальные 55% приходятся на пылевые болезни (33%) и неврит слухового органа (22%). Такое распределение хорошо подтверждается и наибольшими значениями $K_{ЗАГР}$ на участках всех исследуемых литейных цехов как по отдельным факторам производственной среды, так и при комплексной оценке всех факторов.

Кроме того, в группе обрубщиков зарегистрированы самые короткие сроки развития как виброблезни (11,2 года), так и силикоза (13,5 лет), что подтверждает значительное влияние условий труда на работающих.

По виброблезни значительные показатели реги-





стрируются в группе наждачников (около 21%). Это связано не только с высокими уровнями вибрации,

воздействующими на рабочих этой группы, но и с ее спектральными характеристиками (вибрации средне- и высокочастотного диапазонов), представляющими наибольшую опасность, так как приводят к ангиоспастическим сосудистым расстройствам, являющимся одним из основных симптомов вибрационной болезни. Следует также отметить, что в этих профессиональных группах воздействие вибрации сочетается со значительными физическими усилиями при выполнении технологических операций, что существенно усугубляет ее неблагоприятное воздействие.

В группе формовщиков примерно половина всех случаев профзаболеваний приходится на неврит слухового органа, 29% – на вибрационную и 21% – на пылевые заболевания (табл. 5). Средние сроки развития заболеваний достаточно продолжительные, что объясняется низкочастотными шумами и вибрацией пневмотрамбовок

и встряхивающих машин. А известно, что воздействие локальной вибрации низкочастотного диапазона (8–16 Гц) не вызывает выраженного спазма сосудов кисти и значимых изменений в периферической нервной системе. Оно затрагивает главным образом опорно-двигательный аппарат, патологические изменения в котором развиваются более медленно.

Таким образом, на основании проведенных исследований и математической обработки данных сделан вывод о том, что вибрация оказывает влияние на работающих в литейных цехах. Степень ее воздействия определяется применяемыми технологическими процессами и оборудованием для изготовления стержней и форм, выбивки, обрубки и очистки отливок, уровнем механизации и автоматизации, а также характером производства. ☒